

конструкций. Кроме того, данные графики возможно применять при разработке мероприятий, направленных на приведение типовых проектов жилых зданий в энергоэффективный формат.

Изменения нормативных документов, направленные на актуализацию в соответствии с передовыми достижениями в области энергоэффективного строительства, должны позволить проектировщикам создавать высокоэффективную термическую оболочку здания, а также решить вопрос оптимального подбора инженерного оборудования. Однако на данный момент введенные изменения создали условия, в которых зачастую использование упрощенных методик, изложенных в них, стало практически невозможным, а детальные методики – весьма трудоемкими.

УДК 691.32

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ВОЛОКОН НА СВОЙСТВА ПЕНОБЕТОНА

*Н. А. ШЕВЧУК, Р. В. ПОТАПОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время возрастает потребность в применении легких теплоизоляционных элементов ограждающих конструкций, обладающих необходимой прочностью на сжатие и растяжение, высокой трещиностойкостью и долговечностью. Этим требованиям могут соответствовать дисперсно-армированные пенобетоны неавтоклавного твердения – фибропенобетоны.

Фибропенобетон (ФПБ) представляет собой легкий ячеистый бетон, упрочненный высокодисперсным волокнистым наполнителем (фиброй), позволяющим улучшить физико-механические характеристики бетона. В качестве армирующих бетонную матрицу компонентов наибольшее распространение получило полипропиленовое фибровое волокно малой плотности, которое способствует трехмерному повышению прочности и препятствует образованию микротрещин.

Применение высокодисперсных волокнистых наполнителей оказывает положительное влияние на процессы структурообразования, физико-механические и эксплуатационные свойства бетона. Это достигается за счет улучшенной адгезии волокон в цементной матрице, сравнительно высокой прочности и модуля упругости синтетических волокон, их стойкости по отношению к щелочной среде.

Инновационный материал третьего поколения пенобетонов – это нано фибропенобетон. Нано фибропенобетон (НФПБ) – это легкий ячеистый бетон, упрочненный не только высокодисперсными волокнами, но и комплексной модифицирующей добавкой в виде многослойных углеродных нанотрубок диаметром 8–40 нм и длиной 2–50 мкм. Использование углеродных нанотрубок значительно изменяет микро- и наноструктуру материалов. Этот эффект связан с тем, что высокопрочные нанотрубки, имеющие протяженную цилиндрическую структуру и молекулярное строение, являются центрами кристаллизации новообразований цементного камня. В результате образуется упрочнённая микроструктура цементного камня, что значительно повышает прочность пенобетона неавтоклавного твердения.

Экспериментальную проверку вышеизложенных утверждений проводили на двух составах по стандартной методике (предел прочности на сжатие – согласно п. 5.2 ГОСТ 10180–90, предел прочности при изгибе – п.15 ГОСТ 17177–94, средняя плотность в сухом состоянии – пп. 4, 5 ГОСТ 12730.1–78) на образцах-балочках размером 10×10×40 см, твердеющих в естественных условиях:

1 – фибропенобетон (ФПБ);

2 – нано фибропенобетон (НФПБ).

Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Анализ данных таблицы показывает, что введение в сырьевую смесь дисперсной арматуры из полимерных волокон, суперпластификатора Sika ViscoCrete-3 и многослойных углеродных нанотрубок способствует при указанных соотношениях входящих в неё компонентов, согласно составу 2 – НФПБ, увеличению прочности на сжатие по сравнению с составом 1 – ФПБ на 8,3 %, прочности на растяжение при изгибе – на 18,8 %.

Таблица 1 – Составы и физико-механические свойства ячеистых материалов

Состав	Вид и массовая доля, %							Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	
	Связующее	Заполнитель	Порообразователь	Дисперсная арматура	Суперпластификатор	Модифицирующая добавка	Вода		При сжатии	Растяжение при изгибе
1 – ФПБ	ПЦ 500, 41	Мел, 39	ПО-6, 0,01	Параполиамидная, 0,1	–	CaCl <sub>2</sub> , 0,001	19,889	552	2,4	1,6
2 – НФПБ	ПЦ 500, 45	Керамзит дробленый, 32	ПБ-2000, 2	Полипропиленовое волокно, 3	Sika ViscoCrete-3, 0,2	Многослойные углеродные нанотрубки, 0,4	17,4	550	2,6	1,9

Таким образом, применение в составе сырьевой смеси дисперсной арматуры из полимерных волокон, суперпластификатора Sika ViscoCrete-3 и многослойных углеродных нанотрубок диаметром 8–40 нм и длиной 2–50 мкм, способствует увеличению прочности и коэффициента конструктивного качества пенобетона.

Армирование пенобетона комплексной модифицирующей добавкой позволяет повысить устойчивость к растяжению на изгиб, увеличить морозостойкость, огнестойкость и показатель шумоизоляции, снизить водопроницаемость бетона. Также повышается прочность к локальным нагрузкам, что расширяет сферы применения nano фибропенобетона, включая многоэтажное строительство.

В Республике Беларусь нанотехнологии в производстве пенобетона используют на ООО «Тимковичский завод бетонных изделий». Предприятие выпускает изделия из nano фибропенобетона неавтоклавного твердения:

– плиты теплоизоляционные марки по плотности D200,  $R_{сж} = 0,48$  МПа,  $R_{изг} = 0,12$  МПа и теплопроводностью в сухом состоянии 0,058 Вт/(м·К);

– стеновые блоки марки по плотности D500,  $R_{сж} = 2,94$  МПа (В 2,0), F50, теплопроводностью в сухом состоянии 0,111 Вт/(м·К).

Сочетание прочностных характеристик с теплотехническими, долговечность (более 40 лет) и экологичность nano фибропенобетонов определяют их применение в энергоэффективном строительстве зданий.

УДК 539.3

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УПРУГИХ ТЕЛ С ГРУНТОМ ✓

А. О. ШИМАНОВСКИЙ, М. Х. АБДУЛКАДЕР

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

При решении ряда технических задач возникает необходимость расчетов контактного взаимодействия деформируемых твердых тел с грунтом. С одной стороны, имеется необходимость анализа контактного взаимодействия различных сооружений с основаниями. С другой – важно знать, какие нагрузки возникают при бурении скважин, чтобы обеспечить оптимальные режимы работы оборудования.

В общем случае для грунта характерна нелинейная зависимость между нагрузкой и осадкой площадки, передающей нагрузку. Напряженно-деформированное состояние таких материалов описывается сложными упруго-пластическими моделями, для которых предел текучести формирует поверхность текучести, уравнение которой принимают в зависимости от критерия прочности, по которому производят расчет. Результаты исследований показали, что с высокой степенью точности описать поведение грунта позволяет модель Друкера – Прагера.

К настоящему времени получено решение лишь некоторых задач о контакте тел простой формы с учетом упругопластических деформаций. Целью представленной работы является анализ влияния с учетом упругопластических деформаций. Целью представленной работы является анализ влияния физических характеристик грунтов, упруго-пластические свойства которых описываются моделью Друкера – Прагера, на их напряженно-деформированное состояние, обусловленное взаимодействием с упругим металлическим сферическим индентором.